

TEXTE

50/2020

Globalvorhaben Stand der Technik: Teilvorhaben 4: Prüfung des Novellierungs- bedarfs der 2. BImSchV und Entwicklung von Kriterien für die Aufnahme neuer Stoffe

Abschlussbericht

TEXTE 50/2020

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717533024

FB000169

Globalvorhaben Stand der Technik: Teilvorhaben 4: Prüfung des Novellierungsbedarfs der 2. BImSchV und Entwicklung von Kriterien für die Aufnahme neuer Stoffe

Abschlussbericht

von

Dr. Alexandra Polcher, Dr. Miriam Schöpel,
Elisabeth Zettl, Sonja Bauer

Ramboll Environment & Health GmbH, München

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Ramboll Environment & Health GmbH
Werinherstrasse 79, Gebäude 32a
81541 München

Abschlussdatum:

Juni 2019

Redaktion:

Fachgebiet III 2.1 Übergreifende Angelegenheiten, Chemische Industrie,
Feuerungsanlagen
Dr. Wolfgang Dubbert

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Prüfung des Novellierungsbedarfs der 2. BImSchV und Entwicklung von Kriterien für die Aufnahme neuer Stoffe

Die 2. BImSchV betrifft, gemäß § 1, die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb von Anlagen zur Oberflächenbehandlung, zur chemischen Reinigung und Textilausrüstung sowie von Extraktionsanlagen, in denen leicht-flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe oder andere leichtflüchtige halogenierte organische Verbindungen (soweit Lösemittel letztere mit einem Massegehalt von mehr als 1% enthalten) verwendet werden. Im Zuge des vorliegenden Projekts wurde überprüft, ob die Stoffe Tetrachlorethen (PER), Trichlorethen (TRI) sowie Dichlormethan (DCM) nach wie vor für die Verwendung erlaubt sein sollten und ob es neue alternative leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe gibt, die zusätzlich in die Liste der erlaubten Stoffe aufgenommen werden sollten. Es konnte gezeigt werden, dass TRI, PER und DCM nach wie vor in Oberflächenbehandlungslagen und Chemischreinigungs- / Textilanlagen (hier nur PER) eingesetzt werden. Aufgrund der hohen Anforderungen und Vorgaben für den Einsatz dieser Stoffe, werden diese jedoch nur noch eingesetzt, wenn sonst Reinigungs-, Prozess- und/oder Qualitätsanforderungen nicht erfüllt werden können. Soweit möglich wurden Substitutionen oder Prozessumstellungen bereits vorgenommen. Basierend auf einer Onlinebefragung und Expertengesprächen kann die Industrie für die derzeit notwendigen Einsatzbereiche momentan nicht auf den Einsatz verzichten und strebt keinen Einsatz alternativer, halogenerter Kohlenwasserstoffe an. Für den theoretischen Fall, dass eine neue Substanz in die 2. BImSchV aufgenommen werden sollte, ist es wichtig neben der Anwendung von Bewertungskriterien bezüglich des Umweltverhaltens, das Ozonabbaupotential sowie das Treibhauspotential, das Verhalten der Abbauprodukte, Mobilität, Gefährlichkeit aufgrund physikalisch-chemischer Eigenschaften und gefährliche Eigenschaften des Stoffes für den Menschen, die Verwendungsbedingungen, die Prozessbedingungen, ökonomische Aspekte sowie möglichen Entsorgungs- und Recyclingbedingungen mit in die Bewertung einfließen zu lassen.

Abstract: Examination of the need to amend the 2nd BImSchV and development of criteria for the inclusion of new substances

The 2nd BImSchV concerns, in accordance with § 1, the construction, condition and operation of plants for surface treatment, chemical cleaning and textile finishing as well as extraction plants in which volatile halogenated hydrocarbons or other volatile halogenated organic compounds (insofar as solvents contain the latter with a mass content of more than 1%) are used. In the course of the present project it was examined whether the substances tetrachlorethene (PER), trichloroethene (TRI) and dichloro-methane (DCM) should still be permitted for use and whether there are new alternative volatile halogenated hydrocarbons which should additionally be included in the list of permitted substances. It could be shown that TRI, PER and DCM are still used in surface treatment layers and chemical cleaning / textile plants (here only PER). Due to the high requirements and specifications for the use of these substances, however, they are only used if cleaning, process and/or quality requirements cannot otherwise be met. As far as possible, substitutions or process changes have already been made. Based on an online survey and discussions with experts, the industry is currently unable to dispense with the use of alternative halogenated hydrocarbons in the areas currently required. Against this background there are currently no efforts of industry to strive for the use of alternative, halogenated hydrocarbons. In the theoretical case that a new substance should be included in the 2nd BImSchV, it is important that, in addition to the application of evaluation criteria such as environmental behavior, the ozone depletion potential and the green-house potential, the behavior of the degradation products, mobility, danger due to physico-chemical properties and dangerous properties of the substance for humans, the conditions of use, the process conditions,

economic aspects as well as possible disposal and recycling conditions to be included in the evaluation.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
Zusammenfassung.....	10
Summary	13
1 Hintergrund und Zielsetzung.....	16
2 Informationsbeschaffung	18
3 Werden alle derzeit verwendeten Stoffe nach wie vor im Geltungsbereich der 2. BImSchV benötigt? / Gibt es Substanzen, die zusätzlich in die 2. BImSchV aufgenommen werden sollten?	21
3.1 Ergebnisse der Expertenbefragungen.....	21
3.2 Ergebnisse der Literaturrecherche.....	25
3.2.1 Angaben in der Literatur zu Alternativen von PER	26
3.2.2 Angaben in der Literatur zu Alternativen von DCM.....	26
4 Welche Kriterien wären theoretisch notwendig, um neue Stoffe in die 2. BImSchV aufzunehmen?.....	28
5 Quellenverzeichnis	32
A Anhang	33
B Anhang	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Rücklauf der Antworten der Interessensvertreter	18
Abbildung 2:	Übersicht über Antworten Teil 1	19
Abbildung 3:	Übersicht über Antworten Teil 2	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Die in der Literaturrecherche verwendeten Suchbegriffe, Trefferanzahl und relevante Publikationen	25
Tabelle 2:	Ergebnisse der Literaturrecherche zu Alternativen von PER (alphabetisch nach Autor sortiert)	26
Tabelle 3:	Ergebnisse der Literaturrecherche zu Alternativen von DCM (alphabetisch nach Autor sortiert)	27
Tabelle 4:	Kontaktierte Unternehmen	33
Tabelle 5:	Am Expertengespräch beteiligte Firmen und Verbände	36

Abkürzungsverzeichnis

BGBI	Bundesgesetzblatt
BImSchV	Bundes Immissionsschutz Verordnung
CLP	Classification, Labelling and Packaging
CMR	Karzinogen, mutagen, reprotoxisch
D5	Decamethylcyclopentasiloxan
DCM	Dichlormethan
ECHA	Europäische Chemikalienagentur
HC	Kohlenwasserstoffe
HFE	Hydrofluorether
K	Kelvin (Temperatureinheit)
KA	keine Angaben
PBT	persistent, bioakkumulierend und toxisch
PER	Tetrachlorethen
SVHC	besonders besorgniserregende Stoffe
Trans-DCE	1,2-Transdichlorethen
TRI	Trichlorethen
vPvB	sehr persistent und sehr hoch bioakkumulierend

Zusammenfassung

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz dient der Verminderung schädlicher Umweltauswirkungen, die durch gewerbliche und/oder industrielle Emissionen in Luft, Wasser, und Boden entstehen können. Dadurch soll ein auf dem Vorsorgeprinzip beruhendes hohes Schutzniveau für Umwelt, Tiere und Menschen gesichert werden. Das vorliegende Forschungsvorhaben dient dem Zweck zu überprüfen, ob die derzeit in der 2. BImSchV erlaubten Substanzen nach wie vor eingesetzt werden und ob es neu entwickelte leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe und halogenierte organische Verbindungen gibt, für die eine Neuaufnahme in die 2. BImSchV notwendig erscheint. Ferner sollten Kriterien vorgeschlagen werden, die für die Entscheidung bezüglich der Zulassung neuer Stoffe sinnvoll erscheinen. Die 2. BImSchV listet in § 2 Abs. 2 die derzeit zur Verwendung erlaubten leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe. Diese Liste umfasst die Stoffe (i) Tetrachlorethen (oft auch mit PER bezeichnet); (ii) Trichlorethen (TRI); sowie (iii) Dichlormethan (DCM) in technisch reiner Form. Verboten ist jedoch der Einsatz von Trichlorethen in Chemischreinigungs- und Textilausrüstungsanlagen sowie Extraktionsanlagen, sowie der Einsatz von Dichlormethan in Chemischreinigungs- und Textilausrüstungsanlagen. Spezielle Ausnahmen gelten nur gemäß § 19 für den Einsatz von leichtflüchtigen teilfluorierten Kohlenwasserstoffen in technisch reiner Form oder im Gemisch mit trans-1,2-Dichlorethen für hochwertige Anwendungen in Oberflächenbehandlungsanlagen. In Absatz 5 bezieht sich die 2. BImSchV auf den Einsatz von Hydrofluorethern (HFE).

Die 2. BImSchV unterscheidet generell zwischen (1) leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen (darunter fallen auch leichtflüchtiger teilfluorierter Kohlenwasserstoffe) und (2) leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen. Die unter (1) fallenden Stoffe sind nach §1 erlaubt und definiert aber in §2 auf TRI, PER und DCM eingeschränkt. Die in Kategorie (2) fallenden sind nach §1 erlaubt und definiert. In §2 ist für Stoffe, die definierte CMR-Kriterien erfüllen, ein Substitutionsgebot vorgesehen. Verschärfungen der 2. BImSchV über die Jahre führten zu deutlicher Reduzierung der Emissionen. Im Zuge der REACH-Registrierung wurden Alternativen zu den verwendeten Substanzen diskutiert. Die 2. BImSchV lässt derzeit den Einsatz weiterer leichtflüchtiger Halogenkohlenwasserstoffe oder anderer flüchtiger halogenierter organischer Verbindungen nicht zu. Im Vorfeld des Projektes erhob sich die Frage, ob Ausnahmeregelungen bzw. Kriterien zur Bewertung eines Stoffes zur Aufnahme in die Liste der erlaubten Stoffe notwendig seien.

Um die benötigte Information zu sammeln wurden zahlreiche relevante Industrievertreter und Industrieverbände involviert und mit Fragebögen bzw. in Interviews um detaillierte Informationen gebeten. Bei über 50 kontaktierten Experten konnte ein Rücklaufquote von knapp 50% erreicht werden. Erfreulicherweise beteiligten sich darüber hinaus 13 Experten im Laufe des Projekts an einem eintägigen Expertenworkshop, um die Ergebnisse der Befragungen nochmals kritisch zu diskutieren. Auch im Nachgang zu dem Workshop lieferten die Industrievertreter hilfreiche Informationen, die im vorliegenden Bericht integriert sind. Parallel zu der Informationssammlung durch Experten wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Darüber hinaus wurde ein Vertreter der Vollzugsbehörden in die Informationsbeschaffung einbezogen und konnte Daten aus Sicht der Behörden liefern.

Es konnte im Verlauf des Projekts gezeigt werden, dass TRI, PER und DCM nach wie vor als Lösemittel in der Oberflächenbehandlung eingesetzt werden und für bestimmte Anwendungen benötigt werden. PER wird darüber hinaus auch in Chemischreinigungs- und Textilausrüstungsanlagen weiterhin eingesetzt. Bezüglich der Substanzen Hydrofluorether und trans-1,2-Dichlorethen, die beide nicht in die Gruppe der in §2 der 2. BImSchV aufgeführten halogenierten Kohlenwasserstoffe fallen, sondern in separaten Absätzen (§3 Abs. 5 bzw. §19

Abs. 1) der 2. BImSchV geregelt sind, konnten ebenfalls Informationen identifiziert werden, die auf einen aktuellen Einsatz der Substanzen hinweisen.

Basierend auf den Ergebnissen der Onlinebefragung und Expertengespräche, wird momentan von Seiten der Industrie kein Einsatz halogener Kohlenwasserstoffe angestrebt, die die derzeit erlaubten Substanzen komplett ersetzen könnten. Es gibt etliche Stoffe, die bereits heute alternativ in allen Bereichen eingesetzt werden. Diese sind jedoch nicht als kompletter Ersatz gedacht, sondern werden immer dann eingesetzt, wenn es prozesstechnisch möglich ist und ökonomisch und ökologisch sinnvoll erscheint. Bei diesen Substanzen handelt es sich meist um Kohlenwasserstoffe, Alkohole und modifizierte Alkohole. Diese fallen jedoch nicht in den Zuständigkeitsbereich der 2. BImSchV, so dass sich bei einer derartigen Umstellung des Prozesses auch die relevanten gesetzlichen Rahmenbedingungen ändern. Da die 2. BImSchV als äußerst strenges Regelwerk betrachtet wird, ist dies ein Anreiz für Anlagenbetreiber, ihre Prozesse umzustellen. Alle Industrievertreter bestätigten, dass die Anlagen, die nach wie vor TRI, PER oder DCM einsetzen, aus verschiedenen prozesstechnischen Gründen auf den Einsatz dieser Stoffe angewiesen sind.

Im Zuge des Projekts konnte keine Substanz identifiziert werden, für die aktuell eine Aufnahme in die 2. BImSchV notwendig ist. Daher wurde nur theoretisch betrachtet, welche Informationen und Kriterien zu einer Substanz vorliegen müssten, um bewerten zu können, ob die Substanz als Alternative zu den aktuell gültigen Stoffen nach § 2 Abs. 2 aufgenommen werden kann. Die Bewertung der Substanz anhand ihrer Eigenschaften ist ein Aspekt, der stets zusammen mit einer Analyse der ökologischen und ökonomischen Sinnhaftigkeit sowie den anlagentechnischen Gegebenheiten beurteilt werden muss. Da prozessbedingte Kriterien schwer zu verallgemeinern sind, muss dies in Einzelfällen präzise geprüft und bewertet werden.

Generell sollte das Ziel einer Evaluierung von wichtigen Informationen und geeigneten Kriterien sein, eine sogenannte 'Regrettable Substitution' (Deutsch: Bedauernswerte Substitution) zu vermeiden. Eine 'Regrettable Substitution' tritt auf, wenn ein Stoff durch einen Alternativstoff ersetzt wird, sich im Nachhinein aber herausstellt, dass der Alternativstoff mindestens ebenso schädlich wie der ursprüngliche Stoff ist. Da oftmals über den ursprünglichen Stoff viele Stoffdaten und Auswirkungen auf Organismen und Umwelt bekannt sind, über den Alternativstoff jedoch nicht, kann es zu einer solchen Situation kommen.

Um dies zu untermauern wurden im Zuge des Projekts zwei verschiedene Arten von Kriterien vorgeschlagen, Ausschlusskriterien und Bewertungskriterien. Erstere führen bei bestimmten Eigenschaften direkt zu der Entscheidung, den Stoff nicht weiter für eine Aufnahme in die 2. BImSchV zu prüfen. Es wurde vorgeschlagen, bestimmte Stoffeigenschaften (klassifiziert mit spezifischen H-Sätzen zur karzinogenen, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Wirkung) sowie die Nennung der Substanz in einer offiziell geführten „Problemstoffliste“ als Ausschlusskriterien zu diskutieren.

Die Erarbeitung von Bewertungskriterien geschah in Anlehnung an einen durch das UBA veröffentlichten Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“. Der genannte Leitfaden stellt eine auf der Nachhaltigkeit basierende Entscheidungshilfe für Stoffhersteller, Formulierer und Endanwender von Chemikalien dar (UBA 2016). Der Leitfaden zeigt sog. „Prüfpunkte“ auf, die die Nachhaltigkeit eines Stoffes durch Kriterien konkretisieren. Darauf aufbauend wurden die folgenden Bewertungsaspekte identifiziert:

- ▶ Problematische Eigenschaften des Stoffes für die Umwelt (H400er Sätze)
- ▶ Ozonabbaupotential
- ▶ Treibhauspotential

- ▶ Verhalten der Abbauprodukte
- ▶ Mobilität (gemessen an Dampfdruck und Wasserlöslichkeit)
- ▶ Gefährlichkeit aufgrund physikalisch-chemischer Eigenschaften (H200er Sätze)
- ▶ Gefährliche Eigenschaften des Stoffes für den Menschen (H300er Sätze)
- ▶ Wie sind die Verwendungsbedingungen? (u.a. Gibt es Lösungsmittelverluste?)
- ▶ Wie wird die Substanz entsorgt/recycelt?

Kriterien, die lediglich auf Stoffeigenschaften abzielen, allein zu betrachten, erscheint auf Grund der vielfältigen Anlagentypen und Prozesse nicht ausreichend, um über eine Neuaufnahme von Substanzen in die 2. BImSchV zu entscheiden. Ein ganzheitlicher Ansatz für die Bewertung potentieller neuer Stoffe ist notwendig.

Summary

The Federal Immission Control Act serves to reduce harmful environmental impacts that may arise from commercial and/or industrial emissions to air, water and soil. The aim is to ensure a high level of protection for the environment, animals and humans based on the precautionary principle. The purpose of this research project is to examine whether the substances currently permitted in the 2nd BImSchV are still being used and whether there are newly developed volatile halogenated hydrocarbons and halogenated organic compounds for which a new inclusion in the 2nd BImSchV appears necessary. Furthermore, criteria should be proposed which appear to be useful for the decision regarding the authorisation of new substances. The 2nd BImSchV lists in § 2 para. 2 the highly volatile halogenated hydrocarbons currently permitted for use. This list includes the substances (i) tetrachloroethene (often also referred to as PER); (ii) trichloroethene (TRI); and (iii) dichloromethane (DCM) in technically pure form. However, the use of trichloroethene in dry-cleaning and textile finishing plants and extraction plants is prohibited, as is the use of dichloromethane in dry-cleaning and textile finishing plants. Special exceptions apply only in accordance with § 19 for the use of volatile partially fluorinated hydrocarbons in technically pure form or in a mixture with trans-1,2-dichloroethene for high-quality applications in surface treatment plants. Paragraph 5 of the 2nd BImSchV refers to the use of hydrofluoroethers (HFE).

The 2nd BImSchV generally distinguishes between (1) highly volatile halogenated hydrocarbons (including highly volatile partially fluorinated hydrocarbons) and (2) highly volatile halogenated organic compounds. The substances covered by (1) are permitted under §1 and defined in §2, but restricted to TRI, PER and DCM. Those falling into category (2) are permitted and defined according to §1. Section 2 provides for a substitution requirement for substances which fulfil defined CMR criteria. The tightening of the 2nd BImSchV over the years led to a significant reduction in emissions. In the course of REACH registration, alternatives to the substances used were discussed. The 2nd BImSchV currently does not permit the use of other volatile halogenated hydrocarbons or other volatile halogenated organic compounds. In the run-up to the project, the question arose as to whether exemptions or criteria for the evaluation of a substance were necessary for inclusion in the list of permitted substances.

In order to collect the required information, numerous relevant industry representatives and industry associations were involved and asked for detailed information by means of questionnaires or interviews. With more than 50 experts contacted, a response rate of almost 50% was achieved. Fortunately, 13 experts also took part in a one-day expert workshop during the course of the project in order to discuss the results of the surveys critically once again. Following the workshop, the industry representatives also provided helpful information, which is integrated in this report. Parallel to the collection of information by experts, a literature search was carried out. In addition, a representative of the enforcement authorities was involved in the information gathering process and was able to provide data from the point of view of the authorities.

In the course of the project it was shown that TRI, PER and DCM are still used as solvents in surface treatment and are required for certain applications. PER will also continue to be used in dry cleaning and textile finishing plants. With regard to the substances hydrofluoroethers and trans-1,2-dichloroethene, both of which do not fall into the group of halogenated hydrocarbons listed in §2 of the 2nd BImSchV but are regulated in separate paragraphs (§3 para. 5 and §19 para. 1 respectively) of the 2nd BImSchV, it was also possible to identify information indicating a current use of the substances.

Based on the results of the online survey and discussions with experts, the industry is currently not striving for the use of halogenated hydrocarbons, which could completely replace the currently permitted substances. There are a number of substances that are already being used today as alternatives in all areas. However, these are not intended as complete substitutes, but are used whenever it is possible in terms of process technology and appears economically and ecologically sensible. These substances are mostly hydrocarbons, alcohols and modified alcohols. However, these do not fall within the scope of responsibility of the 2nd BImSchV, so that the relevant legal framework conditions also change in the event of such a conversion of the process. Since the 2nd BImSchV is regarded as an extremely strict set of rules, this is an incentive for plant operators to change their processes. All industry representatives confirmed that the plants that continue to use TRI, PER or DCM are dependent on the use of these substances for various process-related reasons.

In the course of the project, no substance could be identified that currently requires inclusion in the 2nd BImSchV. Therefore, it was only considered theoretically which information and criteria would have to be available for a substance in order to be able to assess whether the substance could be included as an alternative to the currently valid substances according to § 2 Para. 2. The evaluation of the substance on the basis of its properties is an aspect which must always be assessed together with an analysis of the ecological and economic sense as well as the technical plant conditions. Since process-related criteria are difficult to generalise, this must be precisely checked and evaluated in individual cases.

In general, the aim of an evaluation of important information and suitable criteria should be to avoid a so-called 'Regrettable Substitution'. A 'Regrettable Substitution' occurs when a substance is replaced by an alternative substance, but it subsequently turns out that the alternative substance is at least as harmful as the original substance. Since many substance data and effects on organisms and the environment are often known about the original substance, but not about the alternative substance, such a situation can occur.

To underpin this, the project proposed two different types of criteria, exclusion criteria and evaluation criteria. For certain properties, the former lead directly to the decision not to further test the substance for inclusion in the 2nd BImSchV. It was proposed to discuss certain substance properties (classified with specific H-phrases for carcinogenic, germ cell mutagenic or reproductive toxic effect) as well as the naming of the substance in an officially kept "list of problem substances" as exclusion criteria.

The development of evaluation criteria was based on a guideline "Sustainable Chemicals" published by UBA. This guideline is a decision-making aid based on sustainability for substance manufacturers, formulators and end users of chemicals (UBA 2016). The guideline points out so-called "test points" that specify the sustainability of a substance through criteria. On this basis, the following assessment aspects were identified:

- ▶ Problematic properties of the substance for the environment (H400 phrases)
- ▶ Ozone depletion potential
- ▶ Global warming potential
- ▶ Behaviour of degradation products
- ▶ Mobility (measured by vapour pressure and water solubility)
- ▶ Hazard due to physicochemical properties (H200 phrases)

- ▶ Hazardous properties of the substance to humans (H300 phrases)
- ▶ What are the terms of use? (e.g. are there solvent losses?)
- ▶ How is the substance disposed of/recycled?

To consider criteria which only aim at substance properties alone does not seem sufficient to decide on a new inclusion of substances in the 2nd BImSchV due to the variety of plant types and processes. A holistic approach for the evaluation of potential new substances is necessary.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz hat als Ziel, schädliche Umweltauswirkungen, die durch gewerbliche und/oder industrielle Emissionen in Luft, Wasser, und Boden entstehen können, zu vermindern. Dadurch soll ein auf dem Vorsorgeprinzip beruhendes hohes Schutzniveau für Umwelt, Tiere und Menschen gesichert werden.

Die Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes betrifft, gemäß § 1, die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb von Anlagen zur Oberflächenbehandlung, zur chemischen Reinigung und Textilausrüstung sowie von Extraktionsanlagen, in denen leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe oder andere leichtflüchtige halogenierte organische Verbindungen (soweit Lösemittel letztere mit einem Massegehalt von mehr als 1 % enthalten) verwendet werden. Chemisch sind diese leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe durch ihren Siedepunkt definiert, der bei Normaldruck bis zu 423 K (150 °C) beträgt.

Nach § 2 dürfen keine schädlichen Stoffe oder Gemische eingesetzt werden, die nach der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (auch CLP-Verordnung, engl. Classification, Labelling and Packaging), als karzinogen, keimzellmutagen oder reproduktionstoxisch eingestuft sind. Hierbei ist die Gebrauchstauglichkeit, die Verwendung und die Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen zu berücksichtigen. § 2 Abs. 2 listet die derzeit zur Verwendung erlaubten leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe. Diese Liste umfasst die Stoffe (i) Tetrachlorethen (oft auch mit PER bezeichnet); (ii) Trichlorethen (TRI); sowie (iii) Dichlormethan (DCM) in technisch reiner Form. Verboten ist jedoch der Einsatz von Trichlorethen in Chemischreinigungs- und Textilausrüstungsanlagen sowie Extraktionsanlagen, sowie der Einsatz von Dichlormethan in Chemischreinigungs- und Textilausrüstungsanlagen. Spezielle Ausnahmen gelten nur gemäß § 19 für den Einsatz von leichtflüchtigen teilfluorierten Kohlenwasserstoffen in technisch reiner Form oder im Gemisch mit trans-1,2-Dichlorethen für hochwertige Anwendungen in Oberflächenbehandlungsanlagen.

Die 2. BImSchV unterscheidet generell zwischen (1) leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen (darunter fallen auch leichtflüchtiger teilfluorierter Kohlenwasserstoffe) und (2) anderen flüchtigen halogenierten organischen Verbindungen. Die unter (1) fallenden Stoffe dürfen in §1 definierten Anlagen eingesetzt werden und sind in §2 eingeschränkt auf TRI, PER und DCM. In §2 ist für Stoffe, die definierte CMR-Kriterien erfüllen, ein Substitutionsgebot vorgesehen.

Verschärfungen der 2. BImSchV über die Jahre führten zu deutlicher Reduzierung der Emissionen. Im Zuge der REACH Registrierung wurden Alternativen zu den verwendeten Substanzen diskutiert. Da die 2. BImSchV derzeit den Einsatz weiterer leichtflüchtiger Halogenkohlenwasserstoffe oder andere flüchtiger halogenierter organische Verbindungen nicht zulässt, ist deren Einsatz zurzeit nicht zulässig. Ausnahmeregelungen bzw. Kriterien zur Bewertung eines Stoffes zur Aufnahme in die Liste der erlaubten Stoffe sind notwendig. Ziel des Forschungsvorhabens war es zum einen, die Notwendigkeit und Möglichkeiten einer Aufnahme neu entwickelter leichtflüchtiger Halogenkohlenwasserstoffe und halogenierter organischer Verbindungen in die 2. BImSchV mit Hilfe grundlegender Fragestellungen zu analysieren. Zum anderen wurden Kriterien für die Entscheidung bezüglich der Zulassung neuer Stoffe gesammelt und diskutiert. Dem Projekt lagen somit drei Kernfragen zu Grunde, die im folgenden Bericht diskutiert werden. Die ersten beiden Fragen lieferten viele Überschneidungen in den Antworten, so dass diese zusammen diskutiert werden:

- ▶ Werden alle derzeit verwendeten Stoffe nach wie vor im Geltungsbereich der 2. BImSchV benötigt?
- ▶ Gibt es Substanzen, die zusätzlich in die 2. BImSchV aufgenommen werden sollten?

- ▶ Welche Kriterien wären theoretisch notwendig, um neue Stoffe in die 2. BImSchV aufzunehmen?

2 Informationsbeschaffung

Um aktuelle Daten darüber zu erhalten, inwieweit die derzeit in der 2. BImSchV erlaubten Substanzen noch eingesetzt werden, wurde zum einen eine Literaturrecherche durchgeführt, zum anderen wurden mittels Expertenbefragungen Industrievertreter in das Projekt involviert. Insbesondere wurden hierbei auch Informationen darüber eingeholt, ob es neue potentielle Stoffe gibt, die alternativ zu den gelisteten Substanzen oder zusätzlich in die Liste, der in der 2. BImSchV erlaubten Stoffe aufgenommen werden sollten.

Die Expertenbefragung wurde mittels eines zielgerichteten Fragebogens durchgeführt und durch Telefoninterviews mit relevanten Experten ergänzt. Die Fragebögen wurden online mit Hilfe der Plattform Survey Monkey programmiert und zielgerichtet für die jeweiligen Expertengruppen erstellt. Eine Informations-E-Mail sowie der Link zum Onlinefragebogen wurde zusammen mit einem Anschreiben des Umweltbundesamts an verschiedene Interessenvertreter geschickt. Die Liste der kontaktierten Firmen findet sich in Anhang A. Es wurden insbesondere Firmen, die aktiv in der Oberflächenbehandlung, der chemischen Reinigung und der Textilausrüstungsanlagenherstellung, sowie im Bereich Extraktionsanlagen identifiziert und angesprochen. Außerdem wurden Lösemittelhersteller, relevante Institute, Nichtregierungsorganisationen und Verbände kontaktiert. Teilweise wurde die Anfrage durch Verbände an Mitgliedsunternehmen weitergeleitet.

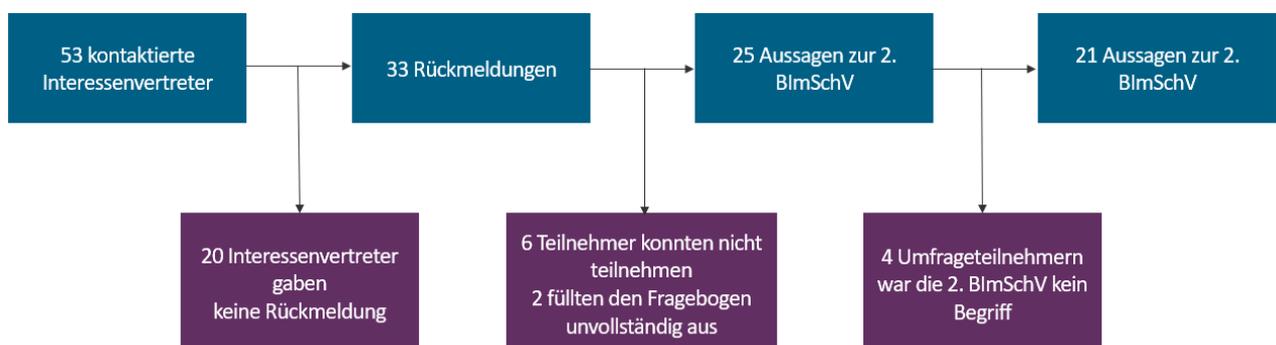
Die Fragen wurden so knapp und präzise wie möglich gehalten, um den Experten eine zügige und einfache Beantwortung zu ermöglichen. Programmierte logische Sprünge - je nach erfolgter Antwort - sorgten dafür, dass nur relevante Fragen zu beantworten waren. Es wurde auf einen Ansprechpartner seitens des Auftragnehmers hingewiesen, der bei Rückfragen oder Problemen zur Verfügung stehen sollte.

Um den Rücklauf der Daten zu unterstützen, wurden zusätzlich telefonische Interviews geführt. Hierzu wurde ein Interviewleitfaden in Anlehnung an den Fragebogen erstellt. Alle Antworten wurden detailliert dokumentiert und die Antworten in der gleichen Struktur aufgenommen oder auf den Fragebogen verwiesen.

Insgesamt wurden 53 Interessenvertreter entweder per Telefonat und/oder per Fragebogen kontaktiert.

Abbildung 1: Rücklauf der Antworten der Interessensvertreter

Anzahl der Rückmeldungen und Zuordnung bezüglich Relevanz



Quelle: Eigene Darstellung Ramboll

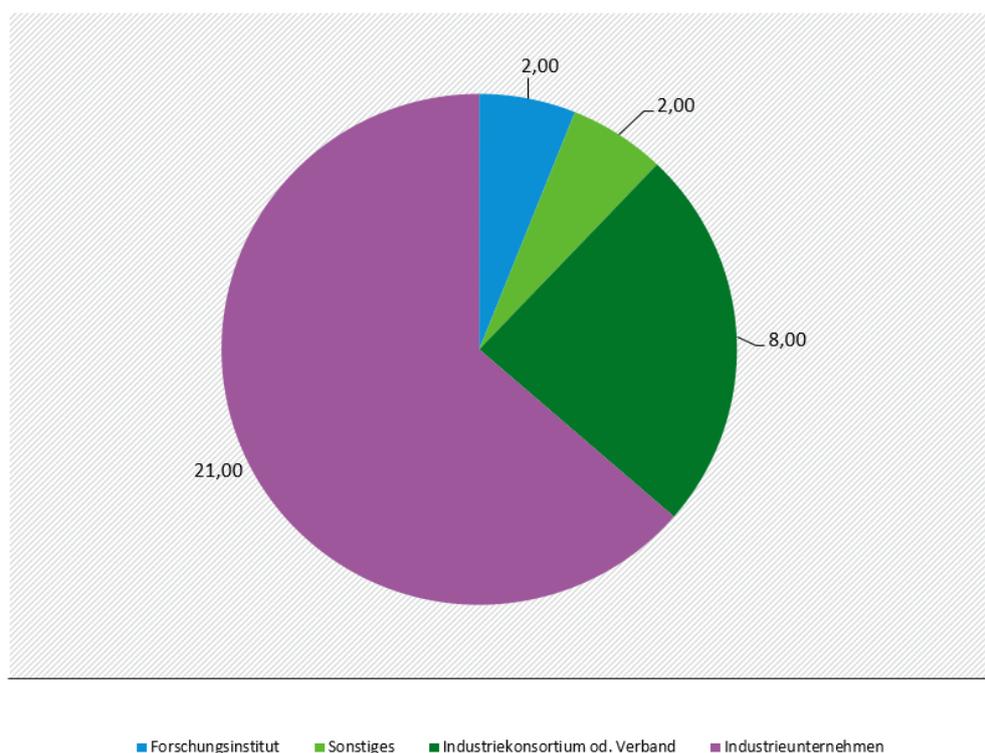
Von den 53 kontaktierten Interessenvertretern gaben 33 Interessenvertreter Rückmeldung. Weitere drei Fragebogenteilnehmer machten Angaben, welche nicht verifiziert werden konnten, da diese nicht schlüssig waren (z.B. einen falschen Firmennamen) und keinem

Interessenvertreter zugeordnet werden konnten. Sechs kontaktierte Interessenvertreter konnten an der Befragung nicht teilnehmen oder Auskunft geben und begründeten dies mit zeitlicher Restriktion, mangelnder Expertise oder aber keiner Relevanz für sie. Weitere zwei Teilnehmer füllten den Fragebogen unvollständig aus, so dass keine Informationen verwertet werden konnten. Vier weitere Interessenvertreter starteten mit der Beantwortung des Fragebogens, gaben aber im weiteren Verlauf an, dass Ihnen die 2. BImSchV und die darin erlaubten Einsatzstoffe nicht durch Ihre Arbeit bekannt sind. 21 Interessensvertreter beantworteten den Fragebogen entweder vollständig oder erteilten telefonische Auskunft. Einer dieser Fragebogen wurde unvollständig ausgefüllt, erlaubt jedoch Rückschlüsse auf einzelne Aspekte.

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen eine Zuordnung der 33 Antworten zu Unternehmens- und Anlagentypen. Es ist klar zu erkennen, dass die Mehrzahl der Antworten von Industrieunternehmen und Industriekonsortien kam. Der größte Anteil in Bezug auf Anlagentyp fällt hierbei unter „sonstiges“. Hierbei handelt es sich vorwiegend um Lösemittelvertreiber und -hersteller, sowie Zulieferer sowie Hersteller von Reinigungsanlagen.

Abbildung 2: Übersicht über Antworten Teil 1

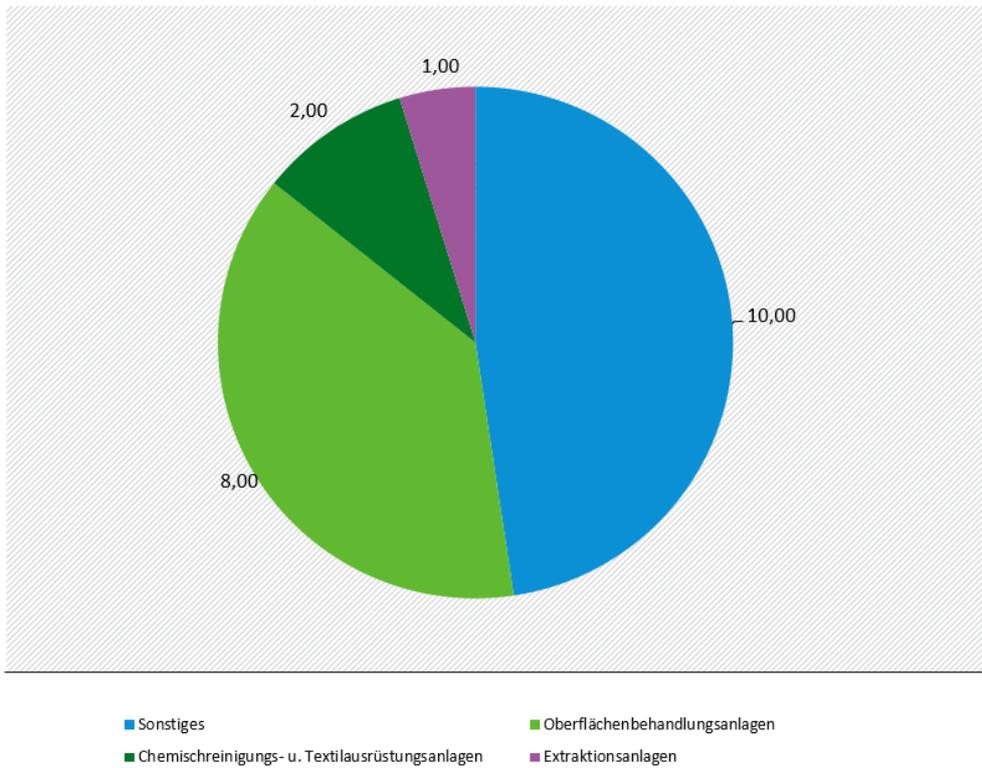
Zuordnung der zurückerhaltenen Antworten



Quelle: Eigene Darstellung Ramboll

Abbildung 3: Übersicht über Antworten Teil 2

Zuordnung der zurückerhaltenen Antworten



Quelle: Eigene Darstellung Ramboll

3 Werden alle derzeit verwendeten Stoffe nach wie vor im Geltungsbereich der 2. BImSchV benötigt? / Gibt es Substanzen, die zusätzlich in die 2. BImSchV aufgenommen werden sollten?

Kernaussage

TRI, PER und DCM werden nach wie vor als Lösemittel in der Oberflächenbehandlung eingesetzt und für bestimmte Anwendungen benötigt. PER wird darüber hinaus auch in Chemischreinigungs- und Textilausrüstungsanlagen weiterhin eingesetzt. Bezüglich der Substanzen Hydrofluorether und trans-1,2-Dichlorethen, die beide nicht in die Gruppe der unter § 2 aufgeführten halogenierten Kohlenwasserstoffe fallen, sondern in separaten Absätzen der 2. BImSchV geregelt sind, konnten ebenfalls Informationen identifiziert werden, die auf einen aktuellen Einsatz der Substanzen hinweisen.

Basierend auf den Ergebnissen der Onlinebefragung und Expertengesprächen gibt es momentan von Seiten der Industrie keine Bestrebungen zum Einsatz alternativer, halogenerter Kohlenwasserstoffe. Die Anlagen, die nach wie vor TRI, PER oder DCM einsetzen, sind aus verschiedenen prozesstechnischen Gründen auf den Einsatz dieser Stoffe angewiesen.

3.1 Ergebnisse der Expertenbefragungen

Während des Projekts wurde deutlich, dass die leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe TRI, PER und DCM nach wie vor eingesetzt werden. Diese Anwendungen beschränken sich jedoch aufgrund der hohen Anforderungen und Vorgaben für den Einsatz dieser Stoffe, auf Anwendungen, für die es keine Alternativen gibt, die die Reinigungs-, Prozess- und/oder Qualitätsanforderungen ebenso erfüllen. Soweit möglich wurden die Substitutionen oder Prozessumstellungen bereits vorgenommen. Besonders vor dem Hintergrund der strengen Anforderungen der 2. BImSchV ist es nachvollziehbar, dass Umstellungen oder Substitutionen erstrebenswert sind, sofern diese möglich sind. Daher ist davon auszugehen, dass der Einsatz der Substanzen derzeit auf notwendige Anwendungen begrenzt ist. Die Industrievertreter waren sich einig darüber, dass die 2. BImSchV ein strenges aber sehr wirksames Instrument darstellt, welches insbesondere in Hinblick auf Emissionsreduzierung und somit auch in Hinblick auf Arbeitsschutz seinen Nutzen deutlich zeigt.

Informationen, ob DCM noch bei Extraktionsanlagen eingesetzt und benötigt wird, konnte das Projektteam trotz Kontaktaufnahme mit relevanten Verbänden sowie Firmen nicht erhalten. Es gab jedoch einige Hinweise darauf, dass DCM sehr vereinzelt noch eingesetzt wird. Die Experten nennen allgemein modifizierte Alkohole und Kohlenwasserstoffe als Alternativen, die als potentielle Alternativen für bestimmte Anwendungen in Frage kommen.

Bezüglich der Substanzen Hydrofluorether (HFE) und trans-1,2-Dichlorethen, welche beide nicht in die Gruppe der in §2 aufgeführten halogenierten Kohlenwasserstoffe fallen, sondern in separaten Absätzen der BImSchV geregelt sind, konnten ebenfalls Informationen identifiziert werden, die auf einen aktuellen Einsatz der Substanzen hinweisen. In Einzelfällen wird Hydrofluorether in der Elektronikindustrie (Leiterplattenindustrie) eingesetzt, wobei darauf hingewiesen wurde, dass HFE selbst keine Reinigungsfunktion hat. Der Grund, warum die Gruppe der Hydrofluorether spezifisch in § 3 Abs. 5 der 2. BImSchV genannt wird, konnte im Laufe des Projekts nicht geklärt werden. HFE ist eine leichtflüchtige halogenierte organische Verbindung und damit nach §1 erlaubt. HFE ist jedoch kein leichtflüchtiger halogenerter

Kohlenwasserstoff und daher auch kein leichtflüchtiger teilfluorierter Kohlenwasserstoff. Daher kann HFE nicht in die Liste der in § 2 aufgeführten Einsatzstoffe aufgenommen werden, da dort nur leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe erlaubt sind.

trans- 1,2- Dichlorethen wird ebenfalls in der 2. BImSchV erwähnt, ist aber niemals allein verwendbar, sondern nur in Gemisch mit leichtflüchtigem teilfluoriertem Kohlenwasserstoff und einer Ausnahmegenehmigung nach §19.

Anhand der erhaltenen Information kann davon ausgegangen werden, dass PER sowohl für die Oberflächenreinigung als auch für die Chemischreinigung immer noch verwendet wird. Für die Chemischreinigung ist nach 2. BImSchV ausschließlich Perchlorethylen (PER) zugelassen. Nach Aussagen des Deutschen Textilreinigungs-Verband e.V. in Zusammenarbeit mit der Europäische Forschungsvereinigung Innovative Textilpflege e.V., der Multimatic iLSA Deutschland GmbH & Co. KG sowie der Solvution GmbH werden rund 40% der Textilreinigungsmaschinen in Deutschland heute noch mit PER betrieben. Für Prozesse, in denen eine Umstellung des Reinigungsmittels möglich war und ist, werden derzeit halogenfreie Lösemittel wie modifizierte Alkohole und verschiedene Kohlenwasserstoffe eingesetzt, die in den Geltungsbereich der 31.BImSchV fallen. Zahlreiche Handelsnamen für bekannte Produkte sind hier erwähnt worden, die je nach Einsatzmöglichkeit unterschiedliche Zusammensetzungen haben, jedoch meist als Hauptbestandteile laut Sicherheitsdatenblatt Alkohole, modifizierte Alkohole und verschiedene Kohlenwasserstoffe verwenden. Ferner wurde vereinzelt die Substanz Decamethylcyclopentasiloxan (D5) erwähnt. Vor dem Hintergrund, dass D5 ein PBT- und vPvB- sowie ein SVHC-Stoff der REACH Kandidatenliste ist und unter Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 in Anhang XIV aufgenommen werden soll (zulassungspflichtig bei Verwendung), erscheint ein Einsatz anstelle von PER auch für Einzelanwendungen nicht sinnvoll. Als einzige Substanz, die tatsächlich in den Geltungsbereich der 2. BImSchV fallen würde, wurde die Substanz N-Propylbromid (1-Brompropan, nPB) diskutiert. Da die Substanz jedoch als reprotoxisch klassifiziert ist, ist sie derzeit nicht als ernsthafte Alternative anzusehen. Hier waren insbesondere die Angaben des Gesamtverbandes der deutschen Textil- und Modeindustrie e. V. hilfreich.

Der Deutsche Textilreinigungs-Verband e.V. in Zusammenarbeit mit der Europäischen Forschungsvereinigung Innovative Textilpflege e.V., der Multimatic iLSA Deutschland GmbH & Co. KG sowie der Solvution GmbH schildert, dass für viele Anwendungsbereiche PER als Lösemittel nach wie vor nicht zu ersetzen ist. Dies betrifft vor allem die Reinigung von:

- ▶ Pelz- und Lederarten, die lediglich in PER gereinigt werden können
- ▶ kontrastreiche (bspw. schwarz-weiß) Textilien, da PER sehr farbschonend ist
- ▶ dicke, schlecht trocknende Ware wie z.B. Outdoor-, Membran- und Daunenwaren
- ▶ stark verunreinigte Kleidung wie z.B. Arbeitskleidung und Arbeitshandschuhe.

Aufgrund seiner nichtbrennbaren Eigenschaft ist PER in entsprechend sensiblen Bereichen wie z.B. für die Reinigung von Sitzbezügen der Luftfahrt, persönliche Schutzausrüstung, etc. nicht austauschbar; es weist ein deutlich schnelleres Trocknungsverhalten als andere Reinigungsmittel auf und ist umfassend recyclingfähig. Nach Aussagen der Industrieunternehmen ist PER im Vergleich zu den meisten anderen Lösemitteln das Lösemittel mit der besten Reinigungsperformance. Aus diesem Grund kann bei alternativen Lösemitteln ein zweiter Reinigungszyklus notwendig sein, um eine mit PER vergleichbare Reinigungsperformance zu erzielen, was wiederum zu einer erhöhten Umweltbelastung führt. Darüber hinaus hat die Textilreinigungsbranche eine ganze Reihe von Maßnahmen umgesetzt, um einen sicheren Umgang mit PER zur gewährleisten. Hierzu zählen Arbeitsplatzgrenzwerte

sowie ein Verriegelungsmechanismus, der dafür sorgt, dass die Textilreinigungsmaschine erst ab einer Konzentration von $2\text{g}/\text{m}^3$ geöffnet werden kann. Der Verriegelungsmechanismus ist gemäß §3 2. BImSchV auch für Oberflächenbehandlungsanlagen verpflichtend. Dieser stellt sicher, dass die Entnahme des Behandlungsgutes aus dem Entnahmebereich erst erfolgen kann, wenn die Massenkonzentration an leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen in der Anlagenluft im Entnahmebereich unmittelbar vor der Entnahme des Behandlungsgutes aus dem Gehäuse $1\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf das Abgasvolumen im Normzustand (273,15 Kelvin, 1 013 Hektopascal), nicht überschritten wird. Im Textilreinigungsbereich wurde zudem der Arbeitsplatzgrenzwert im vergangenen Jahr von 20ml auf $10\text{ml}/\text{m}^3$ (ppm) reduziert und dieser Wert wird nach Aussagen der Industrieverbände auch ohne Probleme eingehalten. Ferner überprüfen unabhängige Prüfinstitute die Einhaltung der Grenzwerte von PER-Textilreinigungsmaschinen auf jährlicher Basis. Bei Abweichungen gibt es zeitnahe Nachkontrollen, bei deren Nichtbestehen die Maschine stillgelegt wird. Ein alternatives lösemittelfreies Verfahren stellt die Nassreinigung dar. Wie bereits oben erwähnt werden in Prozessen, in denen eine Umstellung des Reinigungsmittels möglich war und ist, derzeit halogenfreie Lösemittel wie modifizierte Alkohole und verschiedene Kohlenwasserstoffe eingesetzt, die jedoch in den Geltungsbereich der 31. BImSchV fallen. Keines dieser erwähnten Lösemittel bzw. Verfahren ist jedoch als Alternative zu PER geeignet, sondern vielmehr als Ergänzung zur Reinigung mit PER zu verstehen, welche in Einzelfällen einsetzbar sind und in der Textilreinigung, wenn sinnvoll auch angewendet werden. Die Möglichkeit einer Umstellung des Verfahrens hängt nach Angaben der Industrievertreter stets von den Lösemittelleigenschaften ab, die stark voneinander abweichen können. Insbesondere für die Oberflächenreinigung ist entscheidend, dass es sich bei PER um eine sehr flüchtige Substanz handelt. Im Gegensatz hierzu lassen sich z.B. Alkohole nur schwer aus kleinen Öffnungen und Kapillaren herastrocknen. Ferner kann es mitunter im Einsatz mit alternativen Substanzen zu unerwünschten chemischen Reaktionen kommen, die auf der Instabilität der alternativen Substanz beruhen. Ein weiteres Beispiel bildet das Reinigen von Emulsionen. Durch den hohen Wassereintrag sind völlig unpolare Lösemittel (z.B. PER) geeignet, da sich das Wasser per Schwerkraft gut abtrennen lässt. Bei Alkoholen reichert sich Wasser an und verschlechtert das Reinigungsergebnis. Es benötigt einen erheblichen Mehraufwand, um dieselben Ergebnisse zu erzielen. Generell stehen durchaus mögliche alternative Reinigungsmedien zu Verfügung, die in zahlreichen Fällen jedoch, wenn überhaupt nur mit Hilfe sehr aufwendiger verfahrenstechnischer Umwege zum Ziel führen. Es ist zu bezweifeln, ob diese Verfahren ökologisch und ökonomisch sinnvoll sind. Die Experten waren sich einig, dass stets die Einzelanwendung geprüft werden muss und kein Anwender den Einsatz von PER vorzieht, wenn sinnvolle Alternativen verfügbar sind. Ein Vertreter der bayerischen Vollzugsbehörde bestätigte, dass ihm keine Alternativen oder Zusätze bekannt seien, die in den Geltungsbereich der 2. BImSchV fallen.

TRI ist ein starkes Lösungsmittel und wird in verschiedenen industriellen Anwendungen in geschlossenen Systemen eingesetzt. Es kann Polyolefine und chemisch ähnliche Kunststoffe anlösen und war früher eines der gebräuchlichsten Reinigungs-, Entfettungs- und Extraktionsmittel. TRI ist aufgrund seiner toxischen Eigenschaften gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 ein besonders besorgniserregender Stoff und bedarf einer Zulassung, wenn es genutzt wird. Zulassungen wurden auf Antrag einigen Unternehmen durch die Behörden erteilt, mit der Begründung, dass gemäß Art. 60 Absatz 4 der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 der sozioökonomische Nutzen das Risiko für die menschliche Gesundheit, das sich aus der Verwendung des Stoffes ergibt, überwiegt. Ferner gibt es keine - in Hinblick auf ihre technische und wirtschaftliche Machbarkeit - geeigneten alternativen Stoffe oder Technologien.

Die Vertreter der Firma Safechem Europe GmbH sowie der Olin-Gruppe wiesen in Hinblick auf TRI auf die Alternativenbewertung im Zulassungsantrag „Industrial Parts Cleaning by Vapour

Degreasing in Closed Systems where Specific Requirements (system of use-parameters) exists" der Blue Cube Germany hin und übermittelten relevante Dokumente.

Der Bericht zur Bewertung von Alternativen der Blue Cube Germany GmbH & Co.KG (übernommen von DOW Deutschland Anlagengesellschaft mbH) diskutiert für TRI folgende Alternativen:

- ▶ Wässrige Reinigung: diese ist aus technischen Gründen nicht für alle relevanten Anwendungsfälle geeignet. Im Einzelfall erscheint es möglich, mit intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit wässrige Reinigung als Alternative zu verwenden.
- ▶ Reinigung mit Kohlenwasserstoffen (HC) mit Flammpunkten >55°C: HC-Lösungsmittel sind aus technischen Gründen für relevante Anwendungsfälle nicht geeignet. In konkreten Anwendungsfällen erscheint es möglich, mit intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit HC-Lösungsmittel in eine geeignete Alternative zu verwandeln.
- ▶ Reinigung mit sauerstoffhaltigen Lösungsmitteln mit Flammpunkten >55°C: O-HC - Lösungsmittel sind aus technischen Gründen für relevante Anwendungsfälle nicht geeignet. Im Einzelfall erscheint es möglich, mit intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit O-HC-Lösungsmittel in eine geeignete Alternative zu verwandeln.
- ▶ Reinigung mit Naturöl Ester (NOE): Aufgrund technischer Einschränkungen keine geeignete Alternative.
- ▶ Perchlorethylen (PER): Perchlorethylen ist - aus technischen Gründen - nicht für den Einsatz in relevanten Anwendungsfällen geeignet. Im Einzelfall erscheint es möglich, mit intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit PER in eine geeignete Alternative zu verwandeln.
- ▶ N-Propylbromid (1-Brompropan, nPB): nPB ist sowohl aus technischer Sicht als auch aus Sicht der Gesamtreduktion des Risikos kein geeigneter Ersatz für TRI.
- ▶ Dichlormethan (DCM): DCM ist aus technischen Gründen nicht geeignet. Im Einzelfall erscheint es möglich, mit intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit DCM in eine geeignete Alternative zu verwandeln.
- ▶ Fluorierte Lösungsmittel und deren Azeotropmischungen (Fluorinated Solvent Blend): Fluorierte Reiniger gelten nicht als geeigneter Ersatz für Trichlorethylen. Die Gründe dafür sind: (i) Die technische Eignung ist für relevante Anwendungsfälle nicht gegeben. ii) die in bestimmten Mitgliedstaaten geforderte Verfügbarkeit geeigneter Geräte mit geschlossenem Regelkreis ist nicht gegeben und die Verfügbarkeit ausreichender Produktmengen ist fraglich.
- ▶ Physikalische / Elektrische Verfahren: Aufgrund limitierter Anwendungsbedingungen sind diese Technologien für typische TRI Reinigungsanwendungen nicht generell als alleinige, vollwertige Alternative anzusehen.

3.2 Ergebnisse der Literaturrecherche

Um die Daten der Befragungen mit den verfügbaren Daten aus der Literatur zu ergänzen, wurde in einer einschlägigen Literaturdatenbank (hier: pubmed) mit Hilfe von definierten Suchalgorithmen relevante Literatur der letzten 10 Jahre gesucht. Verschiedene Suchalgorithmen wurden erarbeitet, um ganz gezielt Industrieinformationen zu überprüfen, aber auch um die wissenschaftliche Literatur grundlegend zu berücksichtigen. Um die Suchalgorithmen so gezielt wie möglich zu verwenden, wurde mit Boolean Operatoren (AND, OR) gearbeitet, die z.B. synonyme Chemikalienbezeichnungen logisch miteinander verknüpfen. Alle erhaltenen Treffer wurden in ein Referenzmanagementprogramm (EndNote™) überführt und anschließend in mehreren Schritten auf ihre inhaltliche Relevanz geprüft. Dies geschah zunächst durch den Titel, dann durch den Abstrakt und schließlich durch den gesamten Text der Publikation.

Die Literaturrecherche wurde am 23.11.2018 durchgeführt. Die Ergebnisse der Literaturrecherche sind in Tabelle 1 gezeigt. Für TRI, trans-DCE und HFE konnten durch die Literaturrecherche keine relevanten Publikationen identifiziert werden.

Tabelle 1: Die in der Literaturrecherche verwendeten Suchbegriffe, Trefferanzahl und relevante Publikationen

Substanz	Suchbegriffe	Treffer	Als relevant identifiziert
PER	((tetrachloroethylene[Title/Abstract] OR tetrachloroethene[Title/Abstract] OR perchloroethylene[Title/Abstract] OR perc[Title/Abstract] OR perchloric[Title/Abstract] OR perchloroethylene[Title/Abstract] OR "127-18-4"[Title/Abstract] OR "204-825-9"[Title/Abstract])) AND (alternativ*[Title/Abstract] OR substitut*[Title/Abstract] OR option*[Title/Abstract] OR replacement*[Title/Abstract])	248	5
TRI	((TRichloroethylene[Title/Abstract] OR TRichloroethene[Title/Abstract] OR TCE [Title/Abstract] OR TRIchlor[Title/Abstract] OR Trike[Title/Abstract] OR Trimar[Title/Abstract] OR Trilene[Title/Abstract] "79-01-6"[Title/Abstract] OR "201-167-4 "[Title/Abstract])) AND (alternativ*[Title/Abstract] OR substitut*[Title/Abstract] OR option*[Title/Abstract] OR replacement*[Title/Abstract])	267	0
DCM	((Dichloromethane[Title/Abstract] OR "Methylene dichloride [Title/Abstract] OR DCM[Title/Abstract] OR "methylene chloride"[Title/Abstract] OR dichloromethane[Title/Abstract] OR "75-09-2"[Title/Abstract] OR "200-838-9"[Title/Abstract])) AND (alternativ*[Title/Abstract] OR substitut*[Title/Abstract] OR option*[Title/Abstract] OR replacement*[Title/Abstract])	1234	3
Trans-DCE	((1,2-Dichloroethene[Title/Abstract] OR 1,2-dichloroethylene[Title/Abstract] OR 1,2-DCE[Title/Abstract] OR trans-1,2-dichloroethene[Title/Abstract] OR "156-60-5"[Title/Abstract] OR "205-860-2"[Title/Abstract])) AND	24	0

Substanz	Suchbegriffe	Treffer	Als relevant identifiziert
	(alternativ*[Title/Abstract] OR substitut*[Title/Abstract] OR option*[Title/Abstract] OR replacement*[Title/Abstract])		
HFE	((Hydrofluoroether[Title/Abstract] OR "HFE"[Title/Abstract])) AND (alternativ*[Title/Abstract] OR substitut*[Title/Abstract] OR option*[Title/Abstract] OR replacement*[Title/Abstract])	195	0

Quelle: Ramboll

3.2.1 Angaben in der Literatur zu Alternativen von PER

Wie in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich, wurden wie in der Expertenbefragung überwiegend Kohlenwasserstoffe als Alternativen diskutiert. Des Weiteren ergab die Literaturrecherche, dass es mitunter auch möglich ist, von „dry cleaning“ (Trockenreinigung, ohne Einsatz von Wasser) zu „wet cleaning“ (Reinigung mit Einsatz von Wasser) zu wechseln. Wie bereits im vorangegangenen Kapitel diskutiert, sind die erwähnten Alternativen lediglich in einigen Anwendungen realisierbar und nicht als Möglichkeiten einer kompletten Substitution für alle Anwendungen zu sehen.

Tabelle 2: Ergebnisse der Literaturrecherche zu Alternativen von PER (alphabetisch nach Autor sortiert)

Autor	Jahr	Titel	Land	Genannte Alternativen (CAS in Klammern)
Ceballos, D. M., et al.	2016	Occupational exposures to new dry cleaning solvents: High-flashpoint hydrocarbons and butylal	USA	Produkt auf Kohlenwasserstoffbasis
Sinsheimer, P., et al.	2002	Integrating pollution prevention technology into public policy: the case of professional wet cleaning	USA	Nassreinigung
Sinsheimer, P., et al.	2007	The viability of professional wet cleaning as a pollution prevention alternative to perchloroethylene dry cleaning	USA	Nassreinigung
Troynikov, O., et al.	2016	Towards sustainable and safe apparel cleaning methods: A review	n/a	Acetal, D5, Kohlenwasserstoffe
Whittaker, S. G., et al.	2015	Characterization of Hydrocarbon Dry Cleaning in King County, Washington		Kohlenwasserstoffe

Quelle: Ramboll

3.2.2 Angaben in der Literatur zu Alternativen von DCM

Tabelle 3 zeigt potentielle Alternativen zu Dichlormethan, die in der Literatur genannt wurden. Es wurden insgesamt drei Alternativen identifiziert: 1-Bromopropan, Levoglucosenon und

Ethylformiat. 1-Bromopropan ist auch in der Expertenbefragung diskutiert worden und wegen seiner toxischen Eigenschaften als Alternative verworfen worden. Die letzten beiden Substanzen scheinen wiederum für sehr spezifische Prozesse Verwendung zu finden.

Tabelle 3: Ergebnisse der Literaturrecherche zu Alternativen von DCM (alphabetisch nach Autor sortiert)

Autor	Jahr	Titel	Land	Genannte Alternativen (CAS in Klammern)
Alves Costa Pacheco, A. et al.	2016	Intelligent Approach to Solvent Substitution: The Identification of a New Class of Levoglucosenone Derivatives		Levoglucosenone (CAS No. 37112-31-5)
National Toxicology Program.	2011	Toxicology and carcinogenesis studies of 1-bromopropane (CAS No. 106-94-5) in F344/N rats and B6C3F1 mice (inhalation studies)	US	1-bromopropane (CAS No. 106-94-5)
Sah, H.	2000	Ethyl formate - alternative dispersed solvent useful in preparing PLGA microspheres		Ethyl formate (CAS No. 109-94-4)

Quelle: Ramboll

4 Welche Kriterien wären theoretisch notwendig, um neue Stoffe in die 2. BImSchV aufzunehmen?

Kernaussage

Die im Zuge des Projekts vorgeschlagen Kriterien gliedern sich in Ausschluss – und Bewertungskriterien. Neben Kriterien, die stoffliche Eigenschaften bewerten, ist es wichtig, den Prozess ganzheitlich mit in die Bewertung einzubeziehen.

Auch wenn im Laufe des Projekts keine Substanz identifiziert werden konnte, für die aktuell eine Aufnahme in die 2. BImSchV notwendig ist, wurde theoretisch diskutiert welche Informationen und Kriterien zu einer Substanz vorliegen müssten, um bewerten zu können, ob die Substanz als Alternative zu den aktuell gültigen Stoffe nach § 2 Abs. 2 aufgenommen werden kann. Die Bewertung der Substanz anhand Ihrer Eigenschaften ist ein Aspekt, der stets zusammen mit einer Analyse der ökologisch und ökonomisch Sinnhaftigkeit sowie den anlagentechnischen Gegebenheiten beurteilt werden muss. Der Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie e. V. weist darauf hin nicht allein „vom Stoff her (zu) denken, sondern den ganzen Prozess und das Produkt sowie die Gesamtumweltbilanz im Auge (zu) haben“. Dem stimmten alle befragten Experten zu. Da prozessbedingte Kriterien schwer zu verallgemeinern sind, wird im Nachfolgenden vermehrt auf die stoffspezifischen Kriterien eingegangen.

Generell sollte das Ziel einer Evaluierung von wichtigen Informationen und geeigneten Kriterien sein, eine sogenannte `Regrettable Substitution` (Deutsch: Bedauernswerte Substitution) zu vermeiden. Eine `Regrettable Substitution` tritt auf, wenn ein Stoff durch einen Alternativ-Stoff ersetzt wird, sich im Nachhinein aber herausstellt, dass der Alternativstoff mindestens ebenso schädlich, wie der ursprüngliche Stoff ist. Da oftmals über den ursprünglichen Stoff viele Stoffdaten und Auswirkungen auf Organismen und Umwelt bekannt sind, über den Alternativstoff jedoch nicht, kann es zu einer solchen Situation kommen.

Es wird zwischen zwei verschiedenen Arten von Kriterien unterschieden. Diese sind

- ▶ **Ausschlusskriterien:** Erfüllt ein Stoff bestimmte kritische Eigenschaften, wird er generell nicht aufgenommen. Es ist eine ja/nein-Entscheidung. Im Fall, dass ein Stoff die kritische Eigenschaft nicht aufweist, wird im Anschluss zu den folgenden Kriterien übergegangen.
- ▶ **Bewertungskriterien:** Bestimmte Stoffeigenschaften werden in Ihrer Gesamtheit betrachtet. Eine Bewertung des Stoffs erfolgt stets im Vergleich zu den in der 2. BImSchV genannten Einsatzstoffen. Hier kann auch eine Gewichtung der Kriterien vorgesehen werden.

Die 2. BImSchV gibt in §2(1) bereits potentielle Ausschlusskriterien vor, die durch die Nennung spezifischer H-Sätze gekennzeichnet sind, die die karzinogene, keimzellmutagene oder reproduktionstoxische Wirkung von Chemikalien abdecken:

- ▶ H340 („Kann genetische Defekte verursachen“)
- ▶ H350 und H350i („Kann Krebs erzeugen bzw. Kann bei Einatmen Krebs erzeugen“)
- ▶ H360D oder H360F („Kann das Kind im Mutterleib schädigen“ bzw. „Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.“)

Ein weiteres Ausschlusskriterium kann die Nennung der Substanz auf offiziell geführten „Problemstoff“-Listen sein. Diese Listen beinhalten Substanzen, die definierte kritische Eigenschaften für Menschen und/oder Umwelt aufweisen. Der erste Prüfpunkt, die Nennung der Substanz auf „Problemstoff“-Listen, ist im Kontext der Suche nach Alternativstoffen zu den in der 2. BImSchV genannten Chemikalien besonders wichtig, da, wie bereits erwähnt, eine „Regrettable Substitution“ verhindert werden soll. Es gibt allerdings in Deutschland keine eindeutig definierte Substanzliste, die als Grundlage dienen kann. Es müssen daher mehrere verschiedene deutsche und europäische Listen abgeglichen werden, wenn eine Substanz auf ihre Nennung geprüft werden soll. Ein vom UBA veröffentlichter Leitfaden nennt hier die REACH-Kandidatenliste („Substance of very high concern“-Liste, hier als SVHC), die Liste der prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie, die POP-Substanzen, prioritäre Substanzen nach HELCOM und OSPAR, treibhauswirksame und ozonschädigende Stoffe gemäß dem Montreal- und Kyoto-Protokoll (UBA 2016).

In dem Falle, dass die Substanz auf eine der Listen genannt wird, soll diese aus der weiteren Bewertung ausgenommen sein und stellt damit keine Alternativsubstanz zu einer 2. BImSchV-Chemikalien dar.

Die Erarbeitung von Bewertungskriterien geschah in Anlehnung an einen durch das UBA veröffentlichten Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“. Der genannte Leitfaden stellt eine auf der Nachhaltigkeit basierende Entscheidungshilfe für Stoffhersteller, Formulierer und Endanwender von Chemikalien dar (UBA 2016). Der Leitfaden zeigt sog. „Prüfpunkte“ auf, die die Nachhaltigkeit eines Stoffes durch Kriterien konkretisieren. Darauf aufbauend wurden die folgenden Bewertungsaspekte identifiziert:

► Problematische Eigenschaften des Stoffes für die Umwelt (H400er Sätze)

Auch umweltrelevante Eigenschaften werden teilweise durch die CLP-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1272/2008) abgedeckt, wobei hier der Fokus auf der aquatischen Toxizität bzw. auf der Schädigung der Umwelt durch Ozonabbau (H420) liegt. Es bleibt daher festzuhalten, dass sowohl terrestrische als auch sediment-spezifische Toxizität nicht abgedeckt ist. Zusätzlich zu diesen Kriterien adressiert der Leitfaden noch PBT/vPvB-Eigenschaften (persistent, bioakkumulierend, toxisch bzw. sehr persistent und sehr bioakkumulierend), wie von der ECHA innerhalb der SVHC-Identifizierung vorgesehen. Substanzen die dem ersteren Kriterium (SVHC nach ECHA) entsprechen, sind bereits durch die vorgeschalteten Ausschlusskriterien (Nennung der Substanz auf „Problemstoff“-Listen) „aussortiert“ worden.

► Ozonabbaupotential

Hierbei handelt es sich um eine Maßzahl für den relativen Effekt des Abbaus der Ozonschicht, die durch den Stoff ausgelöst werden kann, bezogen auf die im Montreal-Protokoll mit dem ODP-Wert 1 festgelegte Substanz Trichlorfluormethan (R11). Hierbei ist insbesondere ein Vergleich zu den derzeit erlaubten Substanzen entscheidend.

► Treibhauspotential

Zu berücksichtigen ist hierbei der relative Beitrag einer Substanz zum Treibhauseffekt. Auch hierbei ist insbesondere ein Vergleich zu den derzeit erlaubten Substanzen entscheidend.

► Verhalten der Abbauprodukte

Nicht nur die eingesetzte Substanz sollte bewertet werden, sondern auch mögliche Abbauprodukte. Für jedes Abbauprodukt sollten Stoffeigenschaften, mögliche Expositionen sowie deren weiterer Lebenszyklus betrachtet werden.

► **Mobilität (gemessen an Dampfdruck und Wasserlöslichkeit)**

Allgemein gibt die Mobilität an, inwieweit Stoffe sich in der Luft, im Wasser oder im Boden verbreiten können. Dieser substanzspezifische Teilaspekt wird nicht durch die CLP-Verordnung abgedeckt, sodass spezifische chemische Charakteristika (Wasserlöslichkeit, Dampfdruck) herangezogen werden. Im Kontext dieses Projektes, das sich mit Lösemitteln beschäftigt, ist darauf hinzuweisen, dass die in der 2. BImSchV genannten halogenierten Lösemittel einen sehr hohen Dampfdruck aufweisen. Dies ist auch durch die Funktionalität der Lösemittel (z.B. Entfetten und nachfolgendes schnelles Trocknen) gegeben. Dies ist in der Bewertung zu berücksichtigen.

► **Gefährlichkeit aufgrund physikalisch-chemischer Eigenschaften (H200er Sätze)**

Die Bewertung der Gefährlichkeit aufgrund physikalisch-chemischer Eigenschaften potentieller neuer Stoffe geschieht unter Zuhilfenahme der CLP-Klassifizierung der jeweiligen Chemikalien, wobei die harmonisierte als auch die notifizierte Klassifizierung berücksichtigt werden. Spezifisch für die Gefährlichkeit aufgrund physikalisch-chemischer Eigenschaften sind die H-200er Sätze der CLP-Verordnung. Wobei in der kritischsten Kategorie die folgenden Indikatorsätze berücksichtigt werden: H 200, 201, 202, 203, 205, 220, 221, 222, 226, 228, 240, 241, 242, 250, 251, 260, 261, 270, 271. Diese stehen für Stoffe die explosionsgefährlich, brandfördernd, hochentzündlich oder pyrophor sind. Weniger kritisch sind Substanzen einzuordnen, die mit folgende H-Sätze gekennzeichnet sind: H 204, 221, 223, 224, 225, 252, 272, 280, 281, 290. Dies umfasst Stoffe, die leicht entzündlich sind.

► **Gefährliche Eigenschaften des Stoffes für den Menschen (H300er Sätze)**

Auch für dieses Entscheidungskriterium wird die CLP-Klassifizierung zur Hilfe genommen, wobei hier die H300er Sätze betrachtet werden. Wichtig ist, dass sich der Leitfaden in dieser Unterkategorie an das einfache Maßnahmenkonzept der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BauA) anlehnt. Demnach basieren die Indikator-H-Sätze auf arbeitsschutzrelevanten Kriterien bzw. Aufnahmewegen, wie z.B. Hautkontakt, Inhalation usw.

► **Wie sind die Verwendungsbedingungen? (u.a. Gibt es Lösungsmittelverluste?)**

Dieser Aspekt ist äußerst wichtig und sollte in der Gewichtung priorisiert werden. Hier ist wichtig den Anlagentyp (geschlossen oder offen) zu berücksichtigen und die Anzahl der notwendigen Reinigungsvorgänge. Die Fragen, welche Mengen eingesetzt werden und wie effizient der Prozess ist, sollten ebenfalls berücksichtigt werden.

► **Wie wird die Substanz entsorgt/recycelt?**

Hier ist wichtig zu prüfen, ob die verwendete Substanz wiederverwendet werden kann oder ob eine Entsorgung notwendig ist. Ein Recycling ist z.B. bei Reinsubstanzen wie PER, die einen einheitlichen Siedepunkt haben, möglich.

Wichtig ist, dass im Kontext dieses Projektes nicht alle der im Leitfaden genannten Kriterien betrachtet wurden. Dies geht meist auf mangelnde Verfügbarkeit von Daten zurück. So wurden z.B. der Ressourcenverbrauch, der mit der Herstellung des (Roh-)Stoffes verbunden ist, und die Verantwortung in der Lieferkette nicht betrachtet.

Es soll nochmal deutlich hervorgehoben werden, dass Kriterien, die lediglich auf Stoffeigenschaften abzielen nicht ausreichend erscheinen, um über eine Neuaufnahme von Substanzen in die 2. BImSchV zu entscheiden. Ein ganzheitlicher Ansatz für die Bewertung potentieller neuer Stoffe ist notwendig. Ein weiterer wichtiger Punkt, der im Zuge der Diskussion um Neuaufnahmen oder Substitutionen von Substanzen in der 2. BImSchV zu berücksichtigen ist, ist die Betrachtung bestehender Zulassungen unter REACH. Oftmals sind Zulassungen für bestimmte Anwendungen genehmigt worden, weil es derzeit noch keine Alternativen gibt. Für den Fall, dass es in Zukunft Substanzen geben sollte, die die Chemikalien in der 2. BImSchV tatsächlich zufriedenstellend komplett ersetzen können, sind auch die Argumente in den REACH-Zulassungen zu überarbeiten. Eine enge Zusammenarbeit zwischen den Behörden ist hier notwendig.

5 Quellenverzeichnis

Alves Costa Pacheco A., Sherwood J., Zhenova A., McElroy C. R., Hunt A. J., Parker H. L., Farmer T. J., Constantinou A., De Bruyn M., Whitwood A. C., Raverty W. and Clark J. H. (2016): Intelligent Approach to Solvent Substitution: The Identification of a New Class of Levoglucosenone Derivatives. *ChemSusChem*, 9, 3503.

Blue Cube Germany GmbH & Co.KG (#), Bericht zur Bewertung von Alternativen im Zulassungsantrag „Industrial Parts Cleaning by Vapour Degreasing in Closed Systems where Specific Requirements (system of use-parameters) exists“ Verfügbar über: <https://www.echa.europa.eu/documents/10162/063fb0a1-52b6-45fc-9572-56d91e43c98a>

Ceballos D. M., Whittaker S. G., Lee E. G., Roberts J., Streicher R., Nourian F., Gong W. and Broadwater K. (2016): Occupational exposures to new dry cleaning solvents: High-flashpoint hydrocarbons and butylal. *J Occup Environ Hyg*, 13, 759.

NTP (2011): Toxicology and carcinogenesis studies of 1-bromopropane (CAS No. 106-94-5) in F344/N rats and B6C3F1 mice (inhalation studies). *Natl Toxicol Program Tech Rep Ser*, 1.

Sah H. (2000): Ethyl formate - alternative dispersed solvent useful in preparing PLGA microspheres. *Int J Pharm*, 195, 103.

SDB_(DF2000) 2015. Verfügbar über: <http://www.nsfarrington.com/nsfarrDocs/RR-DF-20002015.pdf>.

SDB_(Intense). Retrieved from https://cdn.shopify.com/s/files/1/1343/0249/files/intense_sd1583-usa.pdf?4752859664058498978.

SDB_(Sensene) 2016. Verfügbar über: https://www.dec.ny.gov/docs/air_pdf/sdssensene2016.pdf.

Sinsheimer P., Gottlieb R. and Farrar C. (2002): Integrating pollution prevention technology into public policy: the case of professional wet cleaning. *Environ Sci Technol*, 36, 1649.

Sinsheimer P., Grout C., Namkoong A. and Gottlieb R. (2007): The viability of professional wet cleaning as a pollution prevention alternative to perchloroethylene dry cleaning. *J Air Waste Manag Assoc*, 57, 172.

Troynikov O., Watson C., Jadhav A., Nawaz N. and Kettlewell R. (2016): Towards sustainable and safe apparel cleaning methods: A review. *J Environ Manage*, 182, 252.

UBA (2016): Leitfaden - Nachhaltige Chemikalien. Verfügbar über: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-nachhaltige-chemikalien>

Whittaker S. G., Taylor J. and Van Hooser L. M. (2015): Characterization of "Hydrocarbon" Dry Cleaning in King County, Washington. *J Environ Health*, 78, 8.

A Anhang

Tabelle 4: Kontaktierte Unternehmen

Nr.	Interessensvertreter	Homepage
1	BauA Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin	https://www.baua.de/
2	BCD Chemie	https://www.bcd-chemie.de/
3	Böwe	http://www.bowe-germany.de/
4	Brenntag	https://www.brenntag.com/germany/en/index.jsp
5	BÜFA	https://www.buefa.de/
6	Carl Zeiss AG	https://www.zeiss.com/corporate/int/home.html
7	Cleaning Excellence Center (CEC)	http://www.cec-leonberg.de/das-cec/
8	Destilla	https://www.destilla.com/
9	Deutscher Textilreinigungs-Verband e.V.	https://www.dtv-bonn.de/
10	Deutscher Verband der Aromenindustrie e.V. (DVAI)	http://aromenverband.de/
11	Deutscher Verband der Riechstoff-Hersteller e.V. (DVHR)	http://duftstoffverband.de/
12	DEVEX Verfahrenstechnik GmbH	https://www.devex-gmbh.de/de/index.html
13	Dow Chemicals	https://de.dow.com/de-de
14	ECSA – European Chlorinated Solvent Association	http://www.chlorinated-solvents.eu/
15	EFIT	http://www.efit-textilpflege.de/
16	EVT Eiberger Verfahrenstechnik GmbH	https://evt-gmbh.de/
17	Firmenich	https://www.firmenich.com
18	Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik	https://www.allianz-reinigungstechnik.de/
19	Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF	https://www.iof.fraunhofer.de/
20	Heimer	http://www.heimer.de/de/
21	Hemo GmbH/Surface Alliance	https://hemo-gmbh.de/
22	hessnatur Stiftung	http://hessnatur-stiftung.org/
23	Honeywell	http://www.honeywellseelze.com/
24	Jenoptik	https://www.jenoptik.de/
25	Kreussler Textile Chemistry	https://www.kreussler.com/en/home.html
26	Krumm-tec	http://www.krumm-tec.com/de/

Nr.	Interessensvertreter	Homepage
27	Maxtex	https://www.maxtex.eu/
28	Mewa Textil Service AG & Co. Management OHG	https://www.mewa.de/?gclid=EAlalQobChMIocWtz_H84AIVk6iaCh2w-gn6EAAYASAAEgK7N_D_BwE
29	Multimatic	https://www.multimatic.de/
30	Netzwerktechnik Laser 2000	https://www.laser2000.de/de/
31	Olin	https://www.olin.com/
32	Pero	https://www.pero.ag/startseite.html
33	Purima	https://www.purima.de/
34	Richard Geiss Gmbh Solvent recycler	http://geiss-gmbh.de/
35	Riebesam GmbH	http://riebesam.de/joomla_riebesam/
36	Rippert	https://www.rippert.de/
37	SAFECHEM	http://www.safechem.com/de.html
38	Seitz	http://www.seitz24.com/
39	Sill Optics GmbH & Co. KG	https://www.silloptics.de/
40	SLF - Smart Surface Solutions	https://www.slf.eu/de
41	Solvution UG	https://www.solvution.de/
42	Spectaris	https://www.spectaris.de/fachverband-photonik/
43	Sporer PCS GmbH	https://www.sporer-maschinenbau.de/
44	Symrise	https://www.symrise.com/de/
45	The Chemours Company	https://www.chemours.com/Refrigerants/de_DE/
46	VCI	https://www.vci.de/startseite.jsp
47	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau	https://www.vdma.org/
48	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau - Arbeitsgemeinschaft Medizintechnik	https://medtec.vdma.org/
49	Wehrle & Weber GmbH	http://www.weber-anlagentechnik.de/
50	Wieland Anlagen- und Apparatebau GmbH	http://www.wieland-apparatebau.de/
51	Wirtschaftsverband Textil Service - WIRTEX e.V.	https://www.wirtex.de/
52	WIWOX GmbH Surface Systems	http://www.wiwox.de/
53	Fachverband industrielle Teilereinigung e.V.“ (FiT) als Ansprechpartner innerhalb	https://www.zvo.org/

Nr.	Interessensvertreter	Homepage
	des ZVO Zentralverband Oberflächentechnik e.V.	

B Anhang

Tabelle 5: Am Expertengespräch beteiligte Firmen und Verbände

Nr.	Interessensvertreter
1	Multimatic ILSA Deutschland
2	EVT Eiberger Verfahrenstechnik GmbH
3	EFIT - Europäische Forschungsvereinigung Innovative Textilpflege e.V.
4	Gesamtverband Textil und Mode
5	Pero AG
6	Deutscher Textilreinigungs-Verband
7	Richard Geiss GmbH
8	SAFECEM Europe GmbH
9	Olin (BC Switzerland GmbH)
10	Solvution UG
11	ZVO Zentralverband Oberflächentechnik/FiT Fachverband industrielle Teilereinigung